

1 木薯粉对罗非鱼营养物质表观消化率、肠道和肝胰脏消化酶活性以及血清非特异性免疫指标

2 王志敬¹ 陈瑶惜¹ 李思娜¹ 张留计¹ 尹福泉^{1*} 董晓慧²

3 (1.广东海洋大学农学院, 湛江 524088; 2.广东海洋大学水产学院, 湛江 524088)

4 摘 要: 本试验旨在探讨饲料中不同添加比例木薯粉对罗非鱼营养物质表观消化率、肠道和
5 肝胰脏消化酶活性以及血清非特异性免疫指标的影响。试验选择健康、平均体重为
6 (7.50 ± 0.25) g 的罗非鱼 540 尾, 随机分为 6 组 (每组 3 个重复, 每个重复 30 尾), 分别
7 饲喂木薯粉添加比例为 0 (对照)、4%、8%、12%、16% 和 20% 的等能等氮试验饲料, 试
8 验期为 8 周。结果表明: 与对照组相比, 饲料中添加 4%~20% 木薯粉对罗非鱼粗脂肪和钙
9 的表观消化率均无显著影响($P>0.05$); 饲料中添加 4%~16% 木薯粉对罗非鱼干物质、粗蛋
10 白质、粗灰分和总磷的表观消化率无显著影响($P>0.05$); 饲料中添加 4%~12% 木薯粉对罗
11 非鱼肠道和肝胰脏蛋白酶活性无显著影响($P>0.05$); 饲料中木薯粉添加比例在 20% 以内均
12 可提高 ($P>0.05$) 或显著提高 ($P<0.05$) 肠道和肝胰脏脂肪酶和淀粉酶的活性; 饲料中木
13 薯粉添加比例在 4%~12% 时可提高血清溶菌酶和超氧化物歧化酶的活性, 但是差异不显著
14 ($P>0.05$), 对血清其他非特异性免疫指标也无显著影响($P>0.05$)。根据结果综合评定, 在
15 本试验饲料营养水平的基础上, 木薯粉在罗非鱼饲料中添加比例为 4%~12% 时不会对罗非
16 鱼的营养物质表观消化率、肠道和肝胰脏消化酶活性及血清非特异性免疫指标产生不良影
17 响, 可节约饲料成本。

18 关键词: 罗非鱼; 木薯粉; 消化率; 消化酶; 非特异性免疫

19 中图分类号: S963

文献标识码: A

文章编号:

20 木薯是主要生长于热带和亚热带地区的作物, 具有耐旱、耐贫瘠、产量高等特点, 与红
21 薯、马铃薯合称为世界三大薯类作物。近年来, 粮食在畜禽养殖中所占的比例越来越大, 粮

收稿日期: 2016-04-10

基金项目: 广东省大学生创新实验项目——木薯粉在罗非鱼上饲用价值的评定及应用 (1056610046)

作者简介: 王志敬 (1990-), 男, 安徽定远人, 硕士研究生, 研究方向为动物营养。E-mail: zhijingw@126.com

*通信作者: 尹福泉, 副教授, 硕士生导师, E-mail: yinfuquan01@163.com

项目 Items		组别 Groups					
		D0	D4	D8	D12	D16	D20
原料（风干基础） Ingredients (air-dry basis)							
鱼粉 Fish meal		3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

豆粕 Soybean meal	20.00	20.00	20.00	22.00	24.00	28.00
菜籽粕 Colza meal	24.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
棉籽粕 Cottonseed meal	14.00	14.00	15.00	15.00	14.00	12.00
木薯粉 Cassava meal		4.00	8.00	12.00	16.00	20.00
次粉 Wheat middling	15.50	15.50	10.50	8.50	5.00	3.20
麸皮 Wheat bran	17.00	12.00	12.00	8.00	6.20	2.00
豆油 Soybean oil	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
鱼油 Fish oil	1.50	1.50	1.50	1.50	1.80	1.80
预混料 Premix ¹⁾	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平(干物质基础) Nutrient levels (DM basis) ²⁾						
粗蛋白质 CP	30.48	30.17	30.12	30.24	30.11	30.24
粗脂肪 EE	5.36	5.20	5.13	4.99	5.21	5.1
粗灰分 Ash	5.42	5.31	5.37	5.29	5.31	5.26
无氮浸出物 NEF	36.86	37.53	37.66	37.83	37.94	38.11

41 ¹⁾预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kilogram of diets: VA 7 500

42 IU, VD₃ 3 600 IU, VK₃ 180 IU, VE 150 IU, VC 450 mg, VB₁ 30 mg, VB₂ 30 mg, VB₆ 60 mg, VB₁₂ 0.45 mg,

43 烟酸 nicotinic acid 120 mg, 叶酸 folic acid 15 mg, 泛酸钙 calcium pantothenate 60 mg, 肌醇 inositol 450 mg,

44 生物素 biotin 0.6 mg, MgSO₄·7H₂O 150 mg, KCl 35 mg, KI 0.75 mg, ZnSO₄·7H₂O 7 mg, MnSO₄·4H₂O 1.5

45 mg, CuCl₂ 2.5 mg, CoCl₂·6H₂O 0.25 mg, FeSO₄·7H₂O 7.5 mg, KH₂PO₄·H₂O 2 250 mg, CaCl₂ 1 400 mg。

46 ²⁾营养水平为实测值。Nutrient levels were measured values.

47 1.2 饲养管理

48 试验选择健康、平均体重为（7.50±0.25） g 的罗非鱼 540 尾，随机分为 6 个组，每组

3 个重复，每个重复 30 尾。试验统一采用 200 L 的养殖桶进行，24 h 充气、3 d 换 1 次水（经过曝气的自来水），每次换水量为总量的 1/3。试验开始前所有试验鱼用对照组饲料驯饲 2 周，试验期间每天投食 4 次，投喂时间分别为 08:00、12:00、16:00、20:00，每次投食量为总体重的 8%，试验期为 8 周。

1.3 样本的采集与处理

1.3.1 粪样的采集与处理

每天喂食后 1 h 清理残料，4 h 后用虹吸法收集新鲜、成形的粪便，收集后置于干燥的滤纸上于烘箱（ 65 ± 5 ）℃烘 24 h 制成风干样品，备用。

1.3.2 肠道、肝胰脏的采集与处理

试验结束后，每个重复随机挑选 3 尾鱼（每个组 9 尾鱼），在冰浴上解剖，分离出肠道、肝胰脏，剔除脂肪组织后，快速收集肠道内容物和肝胰脏，置于离心管中，标记后-20℃冷冻保存。

1.3.3 血清的采集与处理

试验结束后，每个重复随机挑选 3 尾鱼（每个组 9 尾鱼），每尾鱼尾静脉采血 5 mL，4℃静置 1.0~1.5 h，3 000 r/min 离心 1 min，取上层血清，-20℃冷冻保存备用。

1.4 试验样本的检测

1.4.1 营养物质表观消化率的检测

罗非鱼对含不同比例木薯粉饲料中干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分以及钙、总磷的表观消化率采用用内源性指示剂法，以 4N 盐酸不溶灰分（4N-AIA）为指示剂^[9]。

4N-AIA 含量的测定：准确称取 10~12 g（准确至 0.000 1 g）干燥、磨碎的样本（ W_s ，校正为干重）于 500 mL 锥形瓶中，制备 2 份。在锥形瓶中按照 1 g 样本加 10 mL 4N-HCl 的量加入 4N-HCl，然后在通风厨内电热板上缓慢煮沸 30 min，锥形瓶瓶口处装有回流冷却管，防 HCl 和 H_2O 损失；用快速定量滤纸（直径 120 mm）过滤，而后用 85~100 mL 蒸馏

水洗至无酸性反应。随后,将带有滤渣的滤纸移入已知重量的 100 mL 坩埚 (W_e) 中,在 650 °C 高温炉内灼烧 6 h。灰化后,坩埚移入干燥器内冷却至室温,再称重 (W_f)。4N-AIA 含量按照如下公式计算:

$$4N-AIA \text{ 含量}(\%) = 100 \times (W_f - W_e) / W_s。$$

式中: W_f 为坩埚与 4N-AIA 总重 (g); W_e 为空坩埚重 (g); W_s 为样本重。

饲料中营养物质表观消化率计算公式如下:

$$\text{某营养物质表观消化率}(\%) = 100 - 100 \times [\text{饲料中 4N-AIA 含量}(\%) / \text{粪中 4N-AIA 含量}(\%)] \times [\text{粪中某营养物质含量}(\%) / \text{饲料中该营养物质含量}(\%)]。$$

1.4.2 肠道和肝胰脏消化酶活性的检测

将 -20 °C 冷冻保存的肠道和肝胰脏样本送往湛江农垦医院检测蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性。

1.4.3 血清非特异性免疫指标的检测

采用黄嘌呤氧化酶法测定超氧化歧化酶活性,采用比浊法测定溶菌酶活性,采用对硝基苯磷酸盐法测定碱性磷酸酶活性,采用分光光度法测定过氧化氢酶活性,所用试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

1.5 试验数据的处理与分析

试验数据采用 Excel 2007 进行初步处理后,用 SPSS 13.0 软件中 ANOVA 模型进行单因素方差分析,多重比较采用 Duncan 氏法。试验数据采用平均值 ± 标准差 (mean ± SD) 表示, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 木薯粉对罗非鱼营养物质表观消化率的影响

由表 2 可知,D4、D8、D12 和 D16 组干物质的表观消化率与对照组差异不显著 ($P > 0.05$), D20 组的干物质表观消化率最低,且显著低于对照、D4 和 D8 组 ($P < 0.05$); 对照组的粗蛋

白质表观消化率要高于各试验组，D16 和 D20 组与对照组差异显著($P<0.05$)，D4、D8 和 D12 组与对照组差异不显著($P>0.05$)；对于粗脂肪的表观消化率，对照组与各试验组之间差异不显著($P>0.05$)，但 D4 和 D12 组均高于对照组，分别比对照组高 0.97% 和 1.40%；对照和 D4 组粗灰分的表观消化率显著高于 D12、D16 和 D20 组($P<0.05$)；对照组与各试验组的钙表观消化率差异不显著($P>0.05$)，但 D12 组要高于对照组；对照组的总磷表观消化率显著高于 D16 和 D20 组($P<0.05$)，与 D4、D8 和 D12 组差异不显著($P>0.05$)。

表 2 木薯粉对罗非鱼营养物质表观消化率的影响

Table 2 Effects of cassava meal on apparent digestibility of nutrients of tilapia %						
组别	干物质	粗蛋白质	粗脂肪	粗灰分	钙	总磷
Groups	DM	CP	EE	Ash	Ca	TP
D0	60.12±1.66 ^a	73.38±2.30 ^a	79.46±1.26	37.11±1.22 ^a	38.71±1.34	60.16±1.43 ^a
D4	58.81±2.32 ^a	72.55±1.66 ^{ab}	80.43±1.77	36.91±1.73 ^a	38.01±1.55	59.01±0.71 ^{ab}
D8	59.22±1.48 ^a	71.16±2.53 ^{ab}	79.02±2.23	35.98±2.01 ^{ab}	37.22±0.87	60.98±0.82 ^{ab}
D12	57.69±2.61 ^{ab}	71.70±1.79 ^{ab}	80.86±1.46	34.87±1.98 ^b	38.81±0.92	58.22±2.36 ^{ab}
D16	57.86±2.29 ^{ab}	70.22±1.99 ^b	78.46±1.06	34.00±1.37 ^b	37.98±0.66	57.98±1.36 ^b
D20	55.11±1.68 ^b	70.56±0.76 ^b	79.11±2.61	34.68±1.76 ^b	37.86±0.87	57.31±2.25 ^b

同列数据肩标字母相同或无字母表示差异不显著 ($P>0.05$)，不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下表同。

In the same column, values with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$), while with different letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$). The same as below.

2.2 木薯粉对罗非鱼肠道和肝胰脏消化酶活性的影响

由表 3 可知，对照组的肠道蛋白酶活性最高，D4、D8 和 D12 组与其差异不显著($P>0.05$)，D16 和 D20 组显著低于对照组($P<0.05$)；除 D20 组的肠道淀粉酶活性低于对照组外，其他

110 试验组的肠道淀粉酶活性均高于对照组，但各组间差异均不显著($P>0.05$)；各试验组的肠道
111 脂肪酶活性均高于对照组，其中 D12 和 D16 组与对照组的差异达到显著水平($P<0.05$)。

112 表 3 木薯粉对罗非鱼肠道消化酶活性的影响

113 Table 3 Effects of cassava meal on digestive enzyme activities in intestine of tilapia

组别 Groups	蛋白酶 Protease/ (U/g)	淀粉酶 Amylase/(U/g)	脂肪酶 Lipase/ (U/mg)
D0	561.16±24.08 ^a	0.25±0.03	25.33±1.88 ^b
D4	532.07±19.62 ^{ab}	0.27±0.04	26.97±1.42 ^{ab}
D8	542.41±33.04 ^{ab}	0.27±0.05	27.00±1.14 ^{ab}
D12	537.25±25.48 ^{ab}	0.29±0.02	28.25±0.62 ^a
D16	513.77±17.69 ^b	0.29±0.02	28.44±0.72 ^a
D20	515.68±23.17 ^b	0.25±0.02	25.81±1.41 ^b

114 由表 4 可知，饲料添加不同比例的木薯粉均可对罗非鱼的肝胰脏蛋白酶活性产生一定的
115 影响，但是差异均未达到显著水平($P>0.05$)，其中以 D8 组的肝胰脏蛋白酶活性最高，D4
116 组的肝胰脏蛋白酶活性最低；对照组与 D4 和 D8 组的肝胰脏淀粉酶活性相当($P>0.05$)，D16
117 组的肝胰脏淀粉酶活性最高，显著高于其他 5 组($P<0.05$)；与对照组相比，饲料中添加不同
118 比例木薯粉均可使肝胰脏脂肪酶的活力提高，添加比例在 16% 以内时，肝胰脂肪酶的活性
119 随着添加比例的增加逐步升高，D4、D8、D12、D16 组提升幅度分别为 6.47% ($P>0.05$)、
120 6.60% ($P>0.05$)、9.00% ($P<0.05$)和 12.28% ($P<0.05$)，当添加比例达到 20% 时开始下降，D12
121 和 D16 组肝胰脏脂肪酶活性显著高于 D20 组($P<0.05$)。

122 表 4 木薯粉对罗非鱼肝胰脏消化酶活性的影响

123 Table 4 Effects of cassava meal on digestive enzyme activities in hepatopancreas of tilapia

组别 Groups	蛋白酶 Protease/ (U/g)	淀粉酶 Amylase/(U/g)	脂肪酶 Lipase/ (U/mg)
-----------	---------------------	-------------------	--------------------

D0	45.59±5.58	0.08±0.01 ^b	25.88±1.63 ^b
D4	43.80±2.74	0.08±0.01 ^b	26.00±1.67 ^{ab}
D8	49.24±3.70	0.08±0.02 ^b	28.55±1.98 ^{ab}
D12	44.69±3.88	0.09±0.01 ^b	29.77±1.64 ^a
D16	45.26±4.05	0.11±0.02 ^a	31.20±2.35 ^a
D20	47.54±3.87	0.07±0.01 ^b	26.59±1.11 ^b

2.3 木薯粉对罗非鱼血清非特异性免疫指标的影响

由表 5 可知，与对照组相比，D12、D16 和 D20 组血清溶菌酶活性分别提高了 5.56%、1.81% 和 5.38%，但各组间差异不显著($P>0.05$)；D4 和 D12 组血清超氧化物歧化酶活性分别较对照组提高了 3.05% 和 2.90%，其他试验组则均低于对照组，但各组之间差异不显著($P>0.05$)；各组的血清碱性磷酸酶活性差异不显著($P>0.05$)，各试验组血清碱性磷酸酶的活性均高于对照组，试验组中以 D4 组血清碱性磷酸酶活性最高，比对照组高出 10.61%，以 D16 组血清碱性磷酸酶活性最低，比对照组高出 4.80%；D4 和 D12 组的血清酸性磷酸酶活性高于对照组，其他试验组均低于对照组，但各组间差异不显著($P>0.05$)；不同添加比例的木薯粉均可降低血清过氧化氢酶的活性，但是各组间差异均未达到显著水平($P>0.05$)。

表 5 木薯粉对罗非鱼血清非特异性免疫指标的影响

Table 5 Effects of cassava meal on non-specific immune indices in serum of tilapia

组别	溶菌酶	超氧化物歧化酶	碱性磷酸酶	酸性磷酸酶	过氧化氢酶
Groups	LSD/ (U/mL)	SOD/(U/mL)	AKP/ (U/L)	ACP/ (U/mL)	CAT/ (U/mL)
D0	81.26±5.71	102.17±7.72	35.62±5.63	22.69±2.71	3.05±0.17
D4	74.43±7.98	105.29±5.79	39.40±4.01	22.09±3.50	2.87±0.14
D8	80.26±4.22	101.90±12.38	37.51±3.67	23.72±4.66	2.80±0.23

D12	85.78±5.45	105.14±13.17	37.85±6.49	22.84±3.05	2.88±0.22
D16	82.73±2.78	99.94±13.68	37.33±2.42	20.75±2.56	2.83±0.28
D20	85.63±4.65	96.89±3.76	38.14±6.68	21.23±2.49	2.83±0.19

3 讨 论

3.1 木薯粉对罗非鱼营养物质表观消化率的影响

木薯粉有较高的淀粉含量，经过特殊加工处理后可生产出品质较好的食物^[10]。吴浩等^[11]研究表明，用木薯粉替代奶牛饲料中的玉米可提高奶牛的产奶量和乳脂率，降低生产成本，提高经济效益。吕武兴等^[12]用双鬼头肉鸭作为试验对象得出，在饲料中添加 10%~20%的木薯粉能显著提高饲料的表观代谢能和干物质表观消化率。邓田方等^[3]在用木薯粉替代高筋小麦粉饲喂凡纳滨对虾的试验中得出，3%的替代水平组对虾的增重率最高，随着木薯粉添加比例的增加，增重率呈下降趋势。田雪等^[11]研究表明，尼罗罗非鱼对木薯粉的干物质和粗灰分的表观消化率显著高于次粉，与鱼粉、豆粕相当，粗蛋白质、粗脂肪的表观消化率与豆粕差异不显著，显著低于鱼粉。本试验结果表明，木薯粉添加比例在 20% 以内对罗非鱼的粗脂肪和钙的表观消化率没有显著影响，添加比例为 4%~12%时未对其粗蛋白质、粗灰分和总磷的表观消化率产生显著影响，但是继续增加添加比例后粗蛋白质、粗灰分和总磷的表观消化率会显著降低。田雪等^[7]用含有不同比例的木薯粉饲料饲喂吉富罗非鱼，结果表明，木薯粉能提高蛋白质的利用率，40%的添加比例能显著提高粗蛋白质和干物质的表观消化率，这与本试验的结果不同，这可能与两者配制的饲料营养水平不同有关，本试验配制的饲料蛋白质水平是 30%，而田雪等^[7]配制的饲料蛋白质水平为 32%，另外，田雪等^[7]配制的饲料中鱼粉和次粉比例较高，不含有麸皮，本试验配制的中鱼粉和次粉比例较低，而且含有一定比例的麸皮，而研究表明罗非鱼对动物性蛋白质的利用率显著高于植物蛋白质。马霞等^[8]研究表明，在乌鳢饲料中木薯粉的添加比例在 12% 以内不会对乌鳢的生长性能和肝脏健康产生不利影响，这与本试验的结果一致。

3.2 木薯粉对罗非鱼肠道和肝胰脏消化酶活性的影响

罗非鱼原产于非洲，具有生长快、食性广、肉质好和抗病能力强等特点，被我国农业部定位优先发展的淡水养殖品种^[12-13]。鱼类的消化酶主要包括蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶和纤维素酶，是由消化系统分泌的起营养和消化作用的酶类。在鱼类中，不同鱼类其分泌蛋白酶的部

位不同，脂肪酶和淀粉酶则主要由肝胰脏分泌^[14]。张琴等^[15]通过对方格星虫幼虫的研究表明，木薯粉组的淀粉酶、蛋白酶和脂肪酶活性高于土豆淀粉和玉米淀粉组，表明木薯粉可以提高淀粉酶、蛋白酶和脂肪酶的活性，本试验也得出木薯粉在 4%~16%添加比例范围内均可提高淀粉酶和脂肪酶的活性，但是对蛋白酶活性没有提高的趋势，可能是由于本试验采用的是等氮饲料，各试验组饲料和对照组饲料蛋白质水平相近，而鲁琼等^[16]研究表明饲料中的蛋白质水平会影响皇姑幼鱼的肠道蛋白酶活性。本试验结果表明，木薯粉的添加比例在 4%~16%时，随着添加比例的增加，肠道和肝胰淀粉酶和脂肪酶的活性逐步上升，说明在适宜的范围内添加木薯粉可提高罗非鱼对淀粉和脂肪的消化能力。虽然在饲料中添加不同比例的木薯粉均可使肠道中的蛋白酶活性降低，但是添加 8%和 20%的木薯粉可使肝胰脏蛋白酶活性提高。

3.3 木薯粉对罗非鱼血清非特异性免疫指标的影响

非特异性免疫系统是相对于特异性免疫系统而言的，鱼类特异性免疫系统发育不完全，主要依靠非特异性免疫系统进行免疫作用。溶菌酶作为非特异性免疫因子之一，在鱼类的免疫活动中发挥重要的作用，可以清除其他抗菌因子作用后残留的细菌残渣，并且能够增强其他免疫因子对细菌的敏感性，同时与其他免疫因子协同抵抗细菌的入侵^[17]。本试验结果显示，饲料中添加不同比例的木薯粉对罗非鱼的血清溶菌酶活性均没有产生显著影响，表明在罗非鱼饲料中添加 20%以内的木薯粉不会对罗非鱼的免疫机制产生不良影响。超氧化物歧化酶是动物体内重要的抗氧化剂，具有抗炎、抗衰老、抗辐射和抗病毒等功能，在临床上被作为一种非特异性辅助诊断指标，其主要作用机理是将超氧阴离子催化成过氧化氢和氧气，

从而对体内的氧化自由基起到清除作用^[18]。根据本试验结果可知,添加比例为4%和12%的组的血清超氧化物歧化酶活性均高于对照组,说明木薯粉适宜的添加比例可以提高罗非鱼的免疫功能。碱性磷酸酶和酸性磷酸酶均为磷酸单酯酶,是动物体内重要的解毒系统,碱性磷酸酶和酸性磷酸酶在生物界分布十分广泛,它们是动物溶酶体重要的组成部分,在动物的免疫反应中发挥着重要的作用^[19]。碱性磷酸酶与钙、磷的消化吸收和骨骼的形成具有密切的联系,是动物代谢过程中重要的调控酶。本试验中,各试验组的血清碱性磷酸酶活性均高于对照组,说明木薯粉用于罗非鱼可提高其免疫机能。过氧化氢酶和超氧化物歧化酶一样具有抗氧化作用,当超氧化物歧化酶把体内的超氧阴离子自由基歧化为过氧化氢后,过氧化氢酶主要将过氧化氢催化为水和氧气,两者协同对机体进行保护^[19]。本试验显示,对照组的血清过氧化氢酶活性高于各试验组,说明各试验组罗非鱼体内的超氧阴离子水平较低,机体受到的损伤少。

4 结 论

根据试验结果,在本试验饲料营养水平的基础上,饲料中添加4%~12%的木薯粉不会对罗非鱼的营养物质表观消化率、肠道和肝胰脏消化酶活性及血清非特异性免疫指标产生不良影响,可降低饲料成本。

参考文献:

- [1] 吴浩,邓程君,石风华,等.木薯粉替代玉米对奶牛产奶性能和血液生化指标的影响[J].中国畜牧杂志,2013,49(11):64-67.
- [2] 吕武兴,贺建华,李俊波,等.日粮中添加木薯对肉鸭生长性能和养分利用率的影响[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2012,38(1):78-82.
- [3] 邓田方,吴玉刚.对虾饲料中木薯粉替代小麦粉对对虾生长性能的影响[J].粮食与饲料工业,2011(10):54-55,59.
- [4] ROSALES-SOTO M U,GRAY P M,FELLMAN J K,et al.Microbiological and

- 201 physico-chemical analysis of fermented protein-fortified cassava (*Manihot esculenta* Crantz)
- 202 flour[J].LWT-Food Science and Technology,2016,66:355–360.
- 203 [5] OSO A O,LI L,ZHANG B,et al.Effect of fungal fermentation with *Aspergillus niger* and
- 204 enzyme supplementation on metabolizable energy values of unpeeled cassava root meal for
- 205 meat-type cockerels[J].Animal Feed Science and Technology,2015,210:281–286.
- 206 [6] OSO A O,OSO O,BAMGBOSE A M,et al.Utilization of unpeeled cassava (*Manihot*
- 207 *esculenta*) root meal in diets of weaner rabbits[J].Livestock Science,2010,127(2/3):192–196.
- 208 [7] 田雪,华雪铭,周洪琪,等.木薯粉对罗非鱼生长、饲料利用和鱼体营养成分的影响[J].水产
- 209 学报,2008,32(1):71–76.
- 210 [8] 马霞,陈效儒,潘瑜,等.乌鳢饲料中木薯粉替代不同比例面粉的营养效果[J].动物营养学
- 211 报,2015,27(11):3597–3603.
- 212 [9] 计成.动物营养学[M].北京:高等教育出版社,2008.
- 213 [10] 谢辉,何艾,窦志浩,等.木薯营养酥性饼干的研制[J].食品工业,2013,34(6):4–7.
- 214 [11] 田雪,周洪琪,韩斌,等.罗非鱼对木薯粉表观消化率的研究[J].饲料工
- 215 业,2007,28(10):20–22.
- 216 [12] 陈文治,郭忠宝,单丹,等.6 种不同罗非鱼品种的肌肉营养成分分析[J].南方农业学
- 217 报,2015,46(7):1303–1309.
- 218 [13] 谢文平,朱新平,陈昆慈,等.四种罗非鱼营养成分的比较[J].营养学
- 219 报,2014,36(4):409–411.
- 220 [14] 黄瑾,熊邦喜,陈洁,等.鱼类消化酶活性及其影响因素的研究进展[J].湖南农业科
- 221 学,2011(5):129–131,141.
- 222 [15] 张琴,许明珠,程光平,等.不同糖对方格星虫稚虫生长、成活率及体组成的影响[J].
- 223 渔业科学进展, 2013, 34 (5) : 82-88.
- 224 [16] 鲁琼,王立改,楼宝,等.饲料蛋白质水平对黄姑鱼幼鱼生长性能、体组成和消化酶活性的

- 225 影响[J].动物营养学报,2015,27(12):3763–3771.
- 226 [17] 瞿兰,叶星,田园园,等.罗非鱼3种C型溶菌酶重组蛋白的制备及与几种鱼虾溶菌酶溶菌
- 227 谱的比较[J].生物技术通报,2012(11):161–166.
- 228 [18] 张笑天,郑晓瑛.氧化自由基清除剂超氧化物歧化酶与疾病[J].中国公共卫
- 229 生,2014,30(10):1349–1352.
- 230 [19] 张伟妮,林旋,王寿昆,等.黄芪多糖对罗非鱼非特异性免疫和胃肠内分泌功能的影响[J].
- 231 动物营养学报,2010,22(2):401–409.

232 Effects of Cassava Meal on Nutrient Apparent Digestibility, Digestive Enzyme Activities in

233 Intestine and Hepatopancreas, and Serum Non-specific Immune Indices of Tilapia²

234 WANG Zhijing¹ CHEN Yaoxi¹ LI Sina¹ ZHANG Liuji¹ YIN Fuquan^{1*} DONG Xiaohui²

235 (1. College of Agriculture, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China; 2. College of

236 Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

237 Abstract: This study aimed to explore dietary different supplemental proportion of cassava meal

238 on nutrient apparent digestibility, digestive enzyme activities in intestine and hepatopancreas, and

239 serum non-specific immune indices of tilapia. A total of 540 healthy tilapia with the average body

240 weight of (7.50±0.25) g were selected and randomly divided into 6 group with each group had

241 three replicates and each replicate had 30 fish. The fish in the 6 groups were fed isoenergetic and

242 isonitrogenous experimental diets with the cassava meal supplemental proportions were 0

243 (control), 4%, 8%, 12%, 16% and 20%, respectively. The trial period was 8 weeks. The results

244 showed as follows: compared with the control group, diets added 4% to 20% cassava meal had no

245 significant effect on apparent digestibility of ether extract and calcium of tilapia ($P>0.05$); diets

246 added 4% to 16% cassava meal had no significant effect on apparent digestibility of dry matter,

*Corresponding author, professor, E-mail: yinfuquan01@163.com (责任编辑 菅景颖)

crude protein, ash and phosphorus of tilapia ($P>0.05$); diets added 4% to 12% cassava meal had no significant effect on protease activity in intestine and hepatopancreas of tilapia ($P>0.05$); less than 20% cassava meal added in diets could improve ($P>0.05$) or significantly improve ($P<0.05$) the activities of lipase and amylase in intestine and hepatopancreas of tilapia; when diets cassava meal supplemental proportions were 4% to 12%, serum lysozyme and superoxide dismutase activities were increased, but differences were not significant ($P>0.05$), and there were no significant effects on other serum non-specific immune indices ($P>0.05$). According to the results of comprehensive evaluation on the basis of dietary nutrient levels in this trial, diets added 4% to 12% cassava meal do not have bad effects on nutrient apparent digestibility, digestive enzyme activities in intestine and hepatopancreas, and serum non-specific immune indices of tilapia, and can reduce the feed cost.

Key words: tilapia; cassava meal; digestibility; digestive enzyme; non-specific immune